

EFECTO DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR EN PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) INFECTADAS POR EL NEMATODO DE LA CORCHOSIS DE LA RAÍZ

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZA ON COFFEE (*Coffea arabica* L.) PLANTS INFECTED BY THE NEMATODE OF COFFEE CORKY-ROOT DISEASE

Trejo-Aguilar, D.^{1*}; Ferrera-Cerrato, R.²; Sangabriel-Conde, W.¹; Baeza, Y.¹

¹Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz. C. P. 91000. México. ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

*Autor para correspondencia: doratrejo@gmail.com

RESUMEN

La micorriza arbuscular puede reducir la susceptibilidad y daños causados por patógenos. El café es un cultivo que presenta un alto grado de micotrofia y ha sido comprobado que la micorriza mejora el desarrollo de la planta. En este trabajo se comparó el efecto de plantas inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos y su interacción con nematodos fitopatógenos. Se aislaron siete consorcios de hongos micorrízicos nativos de cafetales y se comparó la interacción de los diferentes inóculos con el nematodo causante de la "corchosis". Para ello se sembraron plantas de café inoculadas con los siete consorcios de HMA y después de siete meses se inocularon con 1500 juveniles y huevecillos y se determinó el peso seco, volumen radical, área foliar y número de hojas, micelio extraradical, cantidad de clorofila, porcentaje de colonización micorrízica, número de esporas y la población de nematodos. El volumen radical de las plantas inoculadas con el patógeno disminuyó hasta en un 70.93%, sin embargo, las plantas se observaban aparentemente sanas y vigorosas en la parte aérea, lo que nos hace suponer que aunque el nematodo penetra en la raíz y la daña, las hifas del hongos permiten el paso de nutrientes y así la planta logra su desarrollo.

Palabras clave: *Coffea arabica*, Hongos micorrízicos, *Meloidogyne incognita*, Fitopatógeno.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizae may reduce the susceptibility and damages caused by pathogens. Coffee is a crop that has a high degree of mycotrophy and it has been proven that mycorrhizas improve plant development. The purpose of this study was to compare the effect of plants inoculated with consortia of mycorrhizal fungi and their interaction with phytopathogenic nematodes. Seven consortia of native coffee plantation mycorrhizae fungi were isolated, and the interaction of the different inoculums was compared with the root-knot nematode that causes coffee corky-root disease, also called corchosis. For this purpose, coffee plants were inoculated with the seven consortia of AMF and after seven months they were inoculated with 1500 juveniles and eggs; the following were defined: dry weight, root volume, leaf area and number of leaves, extraradical mycelium, chlorophyll quantity, percentage of colonization, number of spores, and population of nematodes. The root system volume of plants inoculated with the pathogen decreased by up to 70.93%; however, the plants observed were apparently healthy and vigorous in the aerial part, which leads us to assume that although the nematode penetrates the root and damages it, the fungal hyphae allow the passage of nutrients and therefore the plant attains its development.

Palabras clave: *Coffea arabica*, mycorrhizal fungi, *Meloidogyne incognita*, phytopathogens.

del 35% (INIFAP, 2005). De hecho, López-Lima *et al.*, (2015) realizaron un muestreo en 8 fincas de la zona centro de Veracruz, en gradiente altitudinal de 559 a 1,361 msnm, reportando infestación en todos los sitios muestreados. El presente trabajo tuvo como objetivo conocer el desarrollo de las plantas inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos y su interacción con nematodos fitopatógenos en invernadero, con el fin de obtener información básica que permita incorporar el uso de estos hongos como alternativa para reducir los daños causados por nematodos.

METODOLOGÍA

Plántulas de café variedad Garnica se inocularon en etapa de "mariposa" con 7 consorcios de hongos micorrízicos arbusculares colectados en fincas de café con diferente nivel de tecnología descritos por Trejo *et al.* (2011) (MI_{SM}, ES_{SM}, JU_{SM}, PG_{SB}, BE_{SB}, CO_{EDSA} y XI_{EDSA}) (Doscientos diez días después de la inoculación micorrízica (DDIM) se procedió a la inoculación con nematodos aplicando la suspensión con 1,500 del segundo estadio juveniles (J2) en cuatro agujeros en el suelo a 3 cm de la base del tallo (Fernández *et al.*, 1994). En un diseño factorial se estudió el efecto de los factores consorcio (a siete niveles) y nematodo (a dos niveles). Los niveles del consorcio fueron siete complejos nativos de diferente procedencia. Los niveles del factor nematodo fueron presencia y ausencia del patógeno. Además, se consideró un tratamiento fertilizado con fósforo (F) y el testigo sin fertilización (T). Después de 30 días de la inoculación del nematodo (DDIN) y 210 días después de la inoculación micorrízica (DDIM) se evaluaron las variables altura, número de hojas, diámetro, área foliar,

INTRODUCCIÓN

Dentro de la multitud de microorganismos que conforman un agroecosistema, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) destacan de otros componentes debido a su habilidad para formar un enlace entre las plantas y el suelo conocido como micorriza. Entre los beneficios de la micorriza destaca el papel que tiene en la reducción de daños causados por patógenos, entre ellos los nematodos. El café es una planta altamente micotrófica (Trejo *et al.*, 2011), sin embargo este cultivo ha sido fuertemente atacado por el nematodo agallador (*Meloidogyne incognita*) causante de la "corchosis" (López-Lima *et al.*, 2015). Los nematodos son reconocidos como una de las principales enfermedades de algunos cultivos. En café se ha visto que los nematodos destruyen el parénquima cortical de las raíces, causando cavidades y lesiones que predisponen al tejido a infecciones secundarias por hongos y bacterias (Fateh *et al.*, 2016). Los daños afectan seriamente estados tempranos de desarrollo de las plantas de café, cuando las plantas son transplantadas a campo, lo que ocasiona menor producción, frutos pequeños, deficiencias nutricionales y acortamiento de la vida productiva de la plantación (Restrepo *et al.*, 2008). Vaast *et al.* (1997) señala que la infección por el nematodo endoparásito en café disminuye a la mitad la proporción de raíces absorbentes y reduce las tasas de absorción de nitrato y amonio en 63% y 54%, afecta negativamente la producción. Con una superficie de 167,667 ha dedicadas a este cultivo, Veracruz es el segundo estado productor de café en México (INEGI, 2014). Del total de esta superficie, 50,000 ha están infectadas por nematodos, lo que implica reducciones en el potencial productivo del cultivo del orden

peso seco, porcentaje de colonización, población de nematodos, población de esporas, micelio extrarradical, y clorofilas A, B y total.

RESULTADOS

El factor consorcio ejerció efectos significativos ($P \leq 0.0001$) en la medición 180 DDIN, en todas las variables evaluadas. (Cuadro 1).

Por efecto del nematodo se encontró significancia en ausencia del nematodo en peso fresco de la raíz con 18.34 gr y en presencia del nematodo un peso de 13.05 gr. El peso seco de la raíz en ausencia del nematodo fue de 23.65 gr y en presencia de este un peso de 18.34 gr. En la raíz de las plantas con nematodos se puede notar una fuerte destrucción del tejido. Sin embargo, aunque el sistema radical se redujo hasta en un 70% por efecto del nematodo, las plantas lograron mantenerse con un vigor semejante a las que no tenían el patógeno (Figura 1).

Por el contrario, el factor nematodo no afectó la variable altura (Figura 2).

Por efecto de la interacción consorcio-nematodo no se presentaron diferencias significativas en peso fresco de las hojas ($P \leq 0.0002$) entre plantas sin y con nematodos. Sin embargo los valores más altos se encontraron en las plantas libres de nematodo en 6 de los consorcios excepto en el caso del inoculante XI_{EDSA}. En la colonización micorrizica no se observó una tendencia clara entre plantas micorrizadas e infectadas por el nematodo, excepto en los consorcios BE_{SB} y JU_{SM}. Así mismo, la cantidad de clorofilas A, B y total no mostró diferencias significativas (Cuadro 3).

Por efecto del nematodo también se detectó significancia ($P \leq 0.0001$) entre tratamientos, la mayor cantidad de micelio la registró el suelo libre de nematodos con un peso de 863.5 mg* g^{-1} de suelo y con presencia de nematodo con un peso de 350.11 mg* g^{-1} de suelo.

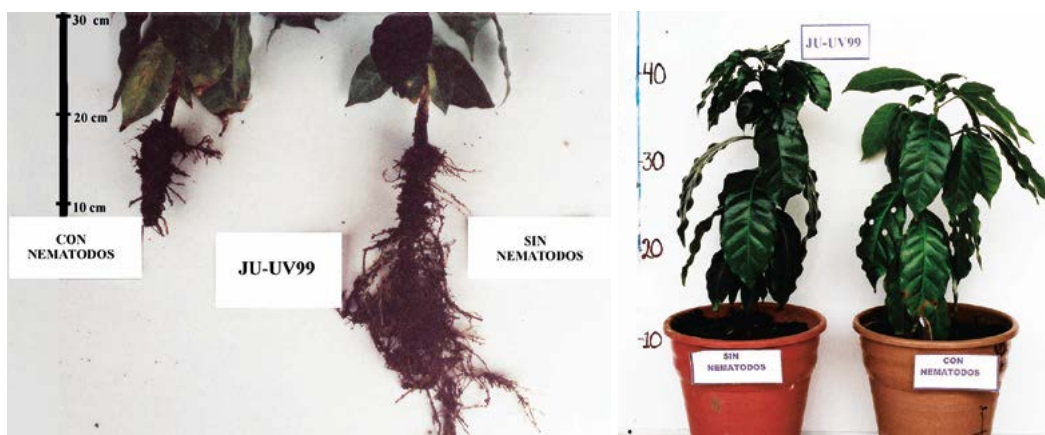


Figura 1. Comparación de plantas micorrizadas con y sin nematodo con el sistema radical dañado pero con una apariencia sana del follaje.

Cuadro 1.

Factor Consorcio	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Número de hojas	Peso fresco de raíz (g)	Peso fresco del follaje (g)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco del follaje (g)	Área foliar (cm ²)
PG _{SB}	29.20b	5.22bcd	25.2b	5.08c	15.99cd	1.34cd	4.81bc	559.92de
BE _{SB}	21.75c	4.64d	20.8b	2.69c	10.13d	0.71cd	3.45cd	623.04cd
MI _{SM}	41.85a	6.75a	55a	32.04a	34.88a	6.39ab	9.87a	1331.79b
ES _{SM}	42.06a	6.67a	56.4a	34.66a	34.57b	9.48a	8.4ab	1470.3ab
JU _{SM}	33.7b	6.13ab	38 b	18.16b	23.68b	4.52ab	6.91abc	551.62de
XI _{EDSA}	22.4c	5.61abcd	21.2b	2.58c	9.25d	0.65cd	4.4cd	419.86e
CO _{EDSA}	31.35b	5.11cd	29.6b	9.8 bc	16cd	2.1cd	5.01cb	758.72c
F	44.7 ^a	6.61ab	60.1a	3.03a	44.5a	7.5ab	9.42a	1610.18a

Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

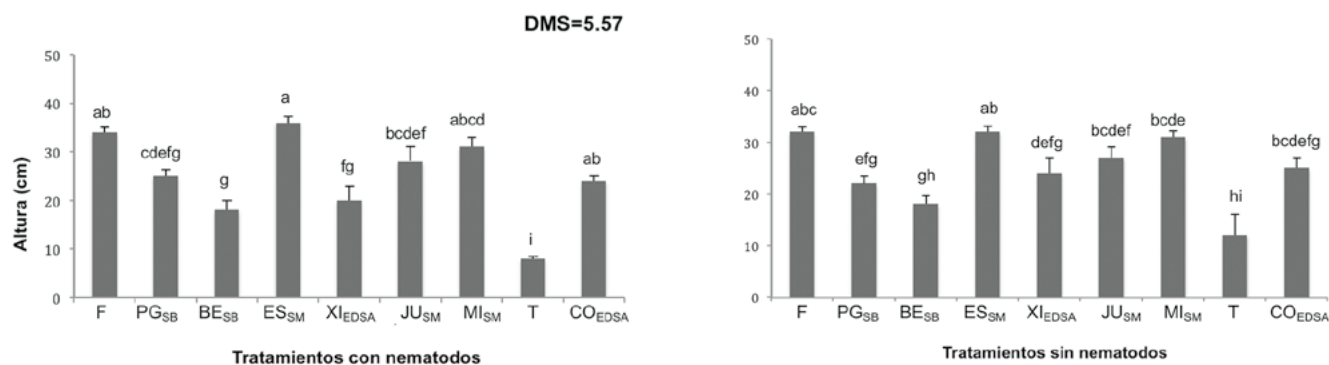


Figura 2. Altura de plantas de café inoculadas con y sin nematodo 30 DDIN. Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

Cuadro 3. Efecto de la interacción consorcio-nematodo en peso fresco de follaje, colonización micorrizica, clorofila A, B y total en presencia (con nematodo, CN) o ausencia (sin nematodo, SN) del patógeno.

Consortorio	Nematodo	Hifas	Vasículas	Arbúsculos	Clorofila A (mg/mm ²)	Clorofila B (mg/mm ²)	Clorofila Total (mg/mm ²)	Peso fresco del follaje (g)
PG _{SB}	CN	24.7 _{ef}	4.03 _e	16.5 _a	6.11 _b	3.02 _{abc}	10.35 _{ab}	15.10 _{fgh}
	SN	27 _{ef}	5 _{de}	6 _{abc}	6.88 _a	2.71 _{ab}	9.62 _a	16.88 _{efgh}
BE _{SB}	CN	39.6 _{bcde}	6.23 _{de}	1 _c	9.19 _a	4.20 _a	12.91 _a	7.84 _{ghi}
	SN	19.7 _{ef}	4.81 _e	3.5 _{bc}	5.82 _a	1.93 _b	8.01 _a	12.42 _{ghi}
MI _{SM}	CN	19.4 _f	5.25 _{de}	7.5 _{abc}	6.89 _{ab}	3.45 _{ab}	10.97 _{ab}	29.22 _{bcde}
	SN	35 _{cdef}	7.2 _{cde}	11.7 _{ab}	7.44 _a	2.77 _{ab}	10.34 _a	39.94 _{ab}
ES _{SM}	CN	46.6 _{bcd}	11.4 _{bcde}	3.8 _{bc}	7.39 _{ab}	3.7 _{ab}	11.13 _a	32.16 _{bcd}
	SN	54.06 _a	16.37 _{bc}	7 _{abc}	7.26 _a	2.95 _a	10.21 _a	36.98 _{bc}
JU _{SM}	CN	30 _{ef}	39 _a	16.5 _a	6.85 _{ab}	3.14 _{ab}	8.74 _{bc}	20.78 _{defg}
	SN	65.02 _a	6.3 _{ade}	1 _c	6.8 _a	2.70 _{ab}	9.32 _a	26.58 _{cdef}
CO _{EDSA}	CN	33.2 _{def}	15 _{bcd}	6.2 _{abc}	6.94 _{ab}	1.56 _{cd}	4.87 _{cd}	11.12 _{ghi}
	SN	50.33 _a	18.3 _b	10.6 _{abc}	5.77 _a	2.23 _{ab}	7.96 _a	20.88 _{defg}
XI _{EDSA}	CN	29 _{ef}	6.3 _{abc}	6.3 _{abc}	5.32 _b	2.83 _{abc}	7.7 _{bc}	11.24 _{ghi}
	SN	30.1 _{ef}	4.5 _{bc}	4.5 _{bc}	6.71 _a	2.89 _{ab}	9.69 _a	7.26 _{ni}

Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

Por efecto de la interacción consorcio-nematodo se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.0001$) en cantidad de micelio externo en el suelo de plantas inoculadas con los consorcios MI_{SM}, ES_{SM}, JU_{SM} y PG_{SB} libre de nematodo, mientras que los valores más bajos se encontraron en los consorcios BE_{SB}, XI_{EDSA}, MI_{SM} y CO_{EDSA} con nematodos (Figura 3).

Después de siete meses de haber inoculado no se descubrieron agallas en las raíces de los tratamientos con nematodos, pero su destrucción fue evidente. Tampoco se observaron huevecillos, no obstante dentro de las raíces se encontraron juveniles y diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.0001$) en la cantidad de nematodos por gramo de raíz. Las plantas inoculadas con el

consorcio JU_{SM} presentaron las más altas poblaciones de nematodos. Las poblaciones más bajas se detectaron en las plantas testigo y en las inoculadas con el consorcio XI_{EDSA} (Figura 4). El efecto principal del consorcio se encontraron diferencias significativas en el número de esporas. En la Figura 5 se observa que el valor más alto se mostró en el consorcio ES_{SM}. No se encontraron

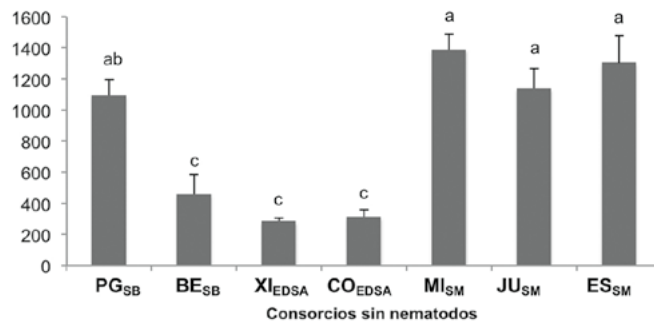
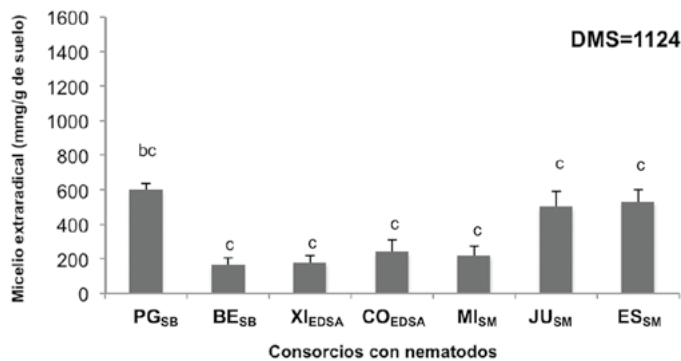


Figura 3. Cantidad de micelio extraradical en suelo con y sin nematodos. Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

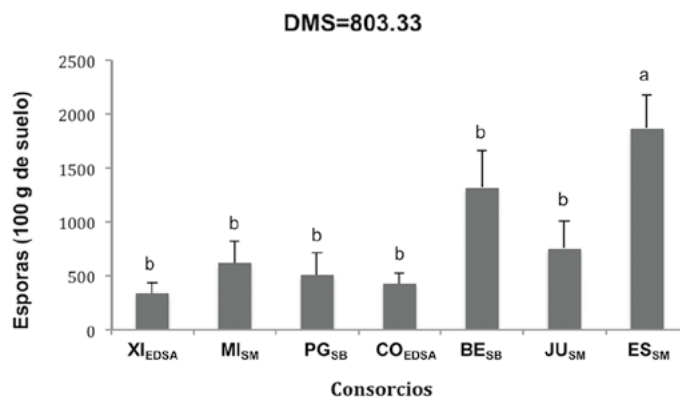
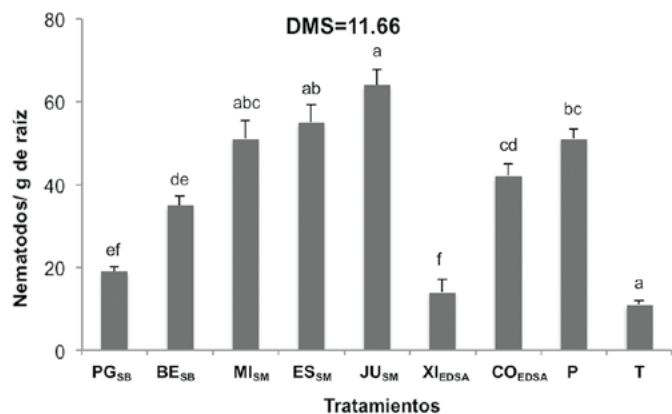


Figura 4. Población de nematodos por gramo de raíz después de siete meses de inoculadas. Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

Figura 5. Cantidad de esporas en la rizósfera de las plantas inoculadas con siete consorcios micorrizicos. Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

diferencias por efecto del nematodo ($P < 0.15$) ni por la interacción consorcio-nematodo ($P < 0.09$).

DISCUSIÓN

Las plantas inoculadas con HMA siguieron una tendencia por efecto del consorcio, lo cual podría sugerir que la eficiencia no es la misma en todas las especies de hongos, por lo que resultados obtenidos muestran que los inoculantes micorrizicos no pueden ser generalizados. Así mismo, se observó que la presencia de nematodos no afectó la biomasa y el desarrollo aéreo de las plantas, posiblemente debido a que, cuando el nematodo se incorporó a sus raíces, la asociación micorrizica ya estaba establecida y no permitió una alta población de estos dentro del tejido radical, ya que la presencia de los HMA mejoran el estado nutricional de la planta y desencadena mecanismos de defensa (Kolawole *et al.*, 2018, Sharma *et al.*, 2017). Las plantas de café micorrizadas en presencia de nematodos tuvieron desarrollo similar a las plantas sanas, el peso seco de las plantas

fue incrementado por los HMA tanto en suelo infestado por nematodos como en suelo libre de ellos, tal y como lo reportan en otros cultivos Forge *et al.* (2001). Vaast *et al.* (1997) reportaron que la inoculación simultánea de HMA y *Pratylenchus coffeae* en plantas de café no promovían ninguna tolerancia a *P. coffeae*, pues las plantas presentaron deficiencias de fósforo y después de 7.5 meses los nematodos disminuyeron la colonización micorrizica. En contraste una inoculación temprana (4 meses antes de la introducción del nematodo) mejoró la tolerancia de la planta y las lesiones de la raíz fueron menos numerosas y más localizadas. Por otro lado, Villenave y Duponnois (2002) encontraron que cuando los hongos HMA fueron inoculados junto con los nematodos su presencia no redujo la biomasa de las plantas. Con base en los resultados obtenidos planteamos un hipótesis que consiste en el valor sustitutivo de la raíz por las hifas y podría ser considerada como un "by pass". Debido a la habilidad del micelio fúngico para absorber nutrimentos minerales del suelo, especialmente fósforo,

y transferirlos a las raíces micorrizadas que permite un desarrollo de las plantas sin indicios de daño en la parte aérea, una condición atribuible a los HMA, aún si las raíces colonizables son insuficientes, toda vez que las hifas externas penetran su tejido cortical en varios puntos y favorecen la nutrición de su hospedero (Brussaard *et al.*, 2001). Además las estructuras fúngicas dentro de la raíz parecen estar especializadas en la absorción de azúcares (Smith *et al.*, 2001) lo que de alguna manera permitió a los hongos HMA seguir viviendo porque la planta era capaz de continuar produciendo fotosintatos. En cuanto a la importancia del micelio externo de los HMA, cabe resaltar que una red hifal es capaz de desarrollarse y funcionar a modo de sistema radical complementario y altamente eficaz (Pfeffer *et al.*, 1999), de tal modo que incrementa el volumen total de suelo explorado (Bentivenga *et al.*, 1997). De acuerdo con Miller *et al.*, (1995) la longitud del micelio externo se estima en 111 m/cm^3 en suelos de pradera. Así es posible que antes de la destrucción masiva del tejido radicular de las plantas, los HMA promovieron un ingreso de nutrimentos a las plantas infestadas por nematodos, de tal suerte que la producción de hifas externas fue capaz de proveer activamente de agua (Ruiz-Lozano y Azcón, 1995), fósforo y otros macro y microelementos a las interfaces simbióticas (Tobar *et al.*, 1994; Clark y Zeto, 2000). En este estudio se muestra que en algunos casos la presencia de los nematodos, si afectó la colonización micorrízica, sin embargo resultados de otros trabajos indican que la presencia de ellos no afectó la colonización, condición reportada previamente por diversos autores (Forge *et al.*, 2001,

Tchabi *et al.*, 2016). En plantas de café Vaast *et al.*, (1997) reportan que cuando se ha efectuado una inoculación micorrízica anticipada al nematodo, este no influyó sobre la colonización, pero cuando la inoculación es simultánea la colonización de los HMA se reduce hasta en un 50%. El daño del micelio causado por los nematodos puede limitar su desarrollo externo con efectos negativos como son la desconexión del micelio interno con el externo. Con lo que respecta al contenido de Clorofila A, las plantas inoculadas con los complejos XI_{EDSA} y CO_{EDSA} tuvieron un desarrollo raquítico contrastado con las inoculadas con los consorcios MI_{SM} y ES_{SM} que fueron estadísticamente similares, es evidente que los HMA juegan un papel fundamental en la apropiación de Fe y Mg, los cuales son importantes en la formación de clorofila (Curtis *et al.*, 2001). Los resultados obtenidos en este experimento revelan que el nematodo no tuvo ningún efecto sobre la población final de esporas, lo cual coincide con los trabajos de Pinochet *et al.*, (1993). Vaast *et al.*, (1997) y Bakhtiar *et al.*, (2001). Por otra parte De Souza (1979) observó que el efecto de la *M. exigua* en la esporulación de *Gi. margarita* fue dependiente del cultivar y de la nutrición de las plantas de café, encontrando que la más baja esporulación se presentó en un cultivar susceptible al patógeno y con bajo nivel de fósforo, mientras que la más alta en cultivares resistentes infestados con nematodos y altos niveles de fósforo. Las plantas inoculadas con los complejos JU_{SM} , ES_{SM} y MI_{SM} presentaron la mejor respuesta a la colonización micorrízica y mayor biomasa radical que posiblemente favoreció la presencia del patógeno. La disminución de la población de nematodos en nuestro trabajo pudiera relacionarse con el mecanismo de inhibición por la presencia de los HMA, hipótesis aún no confirmada debido a que no se ha encontrado infección patogénica por nematodos en sitios cercanos donde hay estructuras micorrízicas (Harley y Smith, 1983). Debido a que las plantas de café pasan por una etapa de vivero, la aplicación de los HMA se facilita y permite que las plantas vayan a campo con este sistema biológico que les permite establecerse en sitios infestados por nematodos.

LITERATURA CITADA

- Bakhtiar Y., Miller D., Cavagnaro T., Smith S. 2001. Interactions between two arbuscular mycorrhizal fungi and fungivorous nematodes and control of the nematode with fenamifos. *Appl. Soil Ecol.* 17:107-117.
- Bentivenga S.P., Bever J.D., Morton, J.B. 1997. Genetic variation of morphological characters within a single isolate of the endomycorrhizal fungus *Glomus clarum* (Glomaceae). *Am. J. Bot.* 84: 1211-1216.
- Brussaard L., Kuyper T.W., Goede R.G.M. 2001. On the relationships between nematodes, mycorrhizal fungi and plants: functional composition of species and plant performance. *Plant Soil* 232: 155-165.
- Clark R.B., Zeto S.K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *J. Plant Nutr.* 23: 867-902.
- Curtis H., Barnes N.S., Schneck A., Flores G. 2001. *Biología*. (6ª. ed.). España: Editorial Médica Panamericana. p. 776-781.
- De Souza P.V.D. 1979. Interactions of *Gigaspora margarita* and *Meloidogyne exigua* on coffee grow at three levels of phosphorus. Abstracts of North American Conference on Mycorrhizae. p. 103. USA: Colorado State University Press.
- Fateh F.S., Mukhtar, T., Kazmi, M.R., Abbassi, N.A. and Arif, A.M., 2016. Prevalence of citrus decline in district Sargodha. *Pakist. J. Agr. Sci.* 54: 9-13.
- Fernández C., Pinochet J., Esmenjaud D., Salesses G., Felipe, A. 1994. Resistance among new *Prunus* rootstocks and selections to root-knot nematodes in Spain and France. *HortScience* 29: 1064-1067.

- Fitter A.H., Sanders J.R. 1992. Interactions with the soil fauna. En M.F. Allen (Ed.). Mycorrhizal functioning an integrated plant-fungal process. pp. 333-354. London: Chapman and Hall.
- Forge T., Muehlchen A., Hackenberg C., Neilsen G., Vrain T. 2001. Effects of preplant inoculation of apple (*Malus domestica* Borkh.) with arbuscular mycorrhizal fungi on population growth of the root-lesion nematode *Pratylenchus penetrans*. Plant Soil 236: 185-196.
- Gange A.C., Bower E., Brown V.K. 2002. Differential effects of insect herbivory on arbuscular mycorrhizal colonization. Oecologia 131: 103-112.
- Harley J.L., Smith S.E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. London: Academic Press. 483 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Encuesta Nacional Agropecuaria 2014. Consultado: 19 de noviembre 2015. <http://www.inegi.org.mx/>.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2005). Clones de *Coffea canephora* como patrones para injertos con tolerancia a la corchosis de la raíz del café. Folleto técnico no. 3. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado 1 April 2018. http://www.inifap.gob.mx/Documents/reportes/reporte_anual2004.pdf.
- Kolawole G.O., Haastrup T.M., Olabiyi, T.I. 2018. Can arbuscular mycorrhiza fungi and NPK fertilizer suppress nematodes and improve tuber yield of yam (*Dioscorea rotundata* 'cviewuru')?. Euras. J. Soil Sci. 7:181-186.
- López-Lima D., Sánchez-Nava P., Carrion G., Espinosa de los Monteros A., Villain L. 2015. Corky-root symptoms for coffee in central Veracruz are linked to the root-knot nematode *Meloidogyne paranaensis*, a new report for Mexico. Europ. J. Plant Pathol. 141: 623-629.
- Miller R.M., Reinhardt D.R., Jastrow J.D. 1995. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. Oecologia 103: 17-23.
- Pfeffer P.E., Douds D.D., Bécard G., Shachar-Hill Y. 1999. Carbon uptake and the metabolism and transport of lipids in an arbuscular mycorrhiza. Plant Physiol. 120: 587-598.
- Pinochet J., Camprubí A., Calvet, C. 1993. Effects of the root-lesion nematode *Pratylenchus vulnus* and the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on the growth of EMLA-26 Apple rootstock. Mycorrhiza 4: 79-83.
- Restrepo Y.C., Osorno L.F., Patiño-Hoyos D., Castañeda Sánchez A. 2008. Efecto de los nematodos en la cantidad y calidad de raíces y métodos de evaluación. Politécnica 7: 47-57.
- Ruiz-Lozano J.M., Azcón, R. 1995. Contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. Physiol. Plant. 95: 472-478.
- Sharma I.P., Sharma, A.K. 2017. Physiological and biochemical changes in tomato cultivar PT-3 with dual inoculation of mycorrhiza and PGPR against root-knot nematode. Symbiosis 7: 175-183.
- Smith S.E., Dickson S., Smith, F.A. 2001. Nutrient transfer in arbuscular mycorrhizas: How are fungal and plant processes integrated. Austr. J. Plant Physiol. 28: 683-694.
- Tchabi A., Hountondji C.C., Ogunsoola B., Lawouin L., Coyne D., Wiemken A., Oehl F. 2016. The influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on micro-propagated hybrid yam (*Dioscorea* spp.) growth and root knot nematode (*Meloidogyne* spp.) Suppression. Int. J. Current Microbiol. Appl. Sci. 10: 267-281.
- Tobar R.M., Azcón R., Barea J.M. 1994. The improvement of plant N acquisition from an ammonium-treated, drought-stressed soil by the fungal symbiont in arbuscular mycorrhizae. Mycorrhiza 4: 105-108.
- Trejo D., Ferrera-Cerrato R., García R., Varela L., Lara L., Alarcón A. 2011. Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. Rev. Chil. Hist. Nat. 84: 23-31.
- Vaast P., Caswell-Chen, E.P., Zasoski, R.J. 1997. Effects of two endoparasitic nematodes (*Pratylenchus coffeae* and *Meloidogyne konaensis*) on ammonium and nitrate uptake by Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). Appl. Soil Ecol. 10: 171-178.
- Villénave C., Duponnois R. 2002. Interactions between ectomycorrhizal fungi, plant-parasitic and free-living nematodes and their effects on seedlings of the hardwood *Azalia africana* Sm. Pedobiologia 46: 176-187.

